

## ИССЛЕДОВАНИЕ ТОЧНОСТИ ПРОКАТА НА ТПА СО СТАНОМ PQF

### RESEARCH OF THE ROLLED STEEL ACCURACY ON THE PIPE-ROLLING PLANT WITH TUBE MILL PQF

Д.О. Струин

ОАО «Российский научно-исследовательский институт трубной промышленности» (ОАО "РосНИТИ"),  
Россия, г. Челябинск, ул. Новороссийская, д. 30,  
e-mail: secretariat@rosniti.ru

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Южно-Уральский государственный университет»  
(национальный исследовательский университет)  
ФГБОУ ВПО «ЮУрГУ» (НИУ),  
Россия, г. Челябинск, пр. Ленина, 76  
e-mail: pmik@susu.ac.ru

#### Abstract

Precision tubes, monitoring, measurement of the rolled pipe, the law of wall thickness distribution, standart, statistical analysis.

The article presents research of the accuracy of pipes for pipe rolling plant with three-roll continuous mandrel mill. The results were processed by the conventional method, which includes the determination of the statistical characteristics of tubes precision.

К горячекатаным бесшовным трубам с каждым годом предъявляют всё более жёсткие требования по точности толщины стенки, предельным отклонениям внутреннего или наружного диаметра, овальности и кривизне. Проблема повышения точности геометрических размеров труб является одной из основных в трубопрокатном производстве. Анализируя технологию производства труб с точки зрения точности, необходимо учитывать все технологические факторы и каждую из операций, с целью определения влияния каждой из них на геометрию раската. Правильное определение статистической точности раската по переделу позволяет находить оптимальные пути повышения качества готовой продукции.

На ОАО «ТАГМЕТ» был проведён мониторинг точности раската по линии ТПА со станом PQF с целью оценки фактической точности геометрических размеров труб, как по телу раската, так и по его концам. Измерения толщины стенки, наружного и внутреннего диаметров проводились на гильзах, заторможенных раскатах на стане PQF (на выходе из каждой клетки), за станом PQF, после извлекательно - калибровочного стана (ИКС), редуционно - растяжного стана (РРС), операций правки, калибровочного стана.

Для определения фактической точности по линии ТПА использовали общеизвестную методику М.Ф. Столетнего и Е.Д. Клемперта [1], которая включает в себя определение статистических характеристик точности труб, дисперсионный анализ, законы распределения этих характеристик и влияние этих факторов на изменение законов распределения. При измерениях всех раскатов придерживались определённой ориентации в последовательности измерений [1], что является необходимым для корректной оценки точности.

На измеренных трубах после ультразвукового контроля толщина стенки находилась в достаточно узком диапазоне:

- при прокатке партии труб  $\varnothing 219 \times 6,0 \div 8,0$  мм (сталь 20; 10ГФБА), с использованием новых валков стана PQF, со значением наружного диаметра близким к номиналу, толщина стенки по телу трубы в среднем находилась в диапазоне  $+9,71 \div -4,12\%$ , по концам  $+8,33 \div -3,45\%$ .

- при прокатке партии труб  $\varnothing 168,3 \times 7,11$  мм (сталь марки 15ГФА-1/Х), с использованием новых валков стана PQF, в плюсовом поле допуска по наружному диаметру, толщина стенки по телу трубы в среднем находилась в диапазоне  $+4,22 \div -7,14\%$ , по концам  $+2,43 \div -4,71\%$ .

- при прокатке партии труб  $\varnothing 168,3 \times 20$  мм (стали марки 32Г2А/Д), с использованием изношенных валков стана PQF, в плюсовом поле допуска по наружному диаметру, толщина стенки по телу трубы находилась в диапазоне  $+8,87 \div -2,3\%$ , по концам  $+5,51 \div -0,83\%$ .

Построение гистограмм, имитирующих вероятностный закон распределения толщины стенки для готовых труб  $\varnothing 219 \times 6,0$  мм  $\varnothing 219 \times 8,0$  мм после прокатки на ТПА со станом PQF, показало, что их характер несколько отличен от нормального закона распределения. В частности, на гистограммах наблюдается два максимума, приблизительно соответствующих толщинам стенки: 5,9 мм, 6,2 мм для труб  $\varnothing 219 \times 6,0$  мм и 8,0 мм, 8,6 мм для труб  $\varnothing 219 \times 8,0$  мм. Дальнейший анализ гистограмм показал, что каждую из них можно представить в виде суперпозиции двух вероятностных законов распределения толщины стенки труб, как это показано на рисунках 1 и 2.

Следует отметить, что выполненные ранее замеры толщины стенки труб, прокатанных на плавающей оправке в клетях непрерывного стана с

2-валковыми калибрами (стан TMK-IPSCO, установленный в г. Эмбридж, штат Пенсильвания, США) показали, что в этом случае закон распределения толщины стенки по телу трубы достаточно близок к нормальному. Это говорит о том, что наличие двух максимумов на гистограммах для труб, прокатанных на ТПА со станом PQF, не является случайным и связано с технологическими причинами.

Поскольку, как видно из гистограмм, один из максимумов приблизительно соответствует

номинальной толщине стенки трубы, а второй соответствует большей толщине стенки, можно предположить, что при прокатке труб в клетях стана PQF утолщение металла в зоне радиусов выпуска в последующей клетке полностью не выглаживается. Разный характер распределения максимумов толщин стенок труб 219х6,0 мм и 219х8,0 мм также можно объяснить различным скоростным режимом стана PQF, либо износом прокатного инструмента.

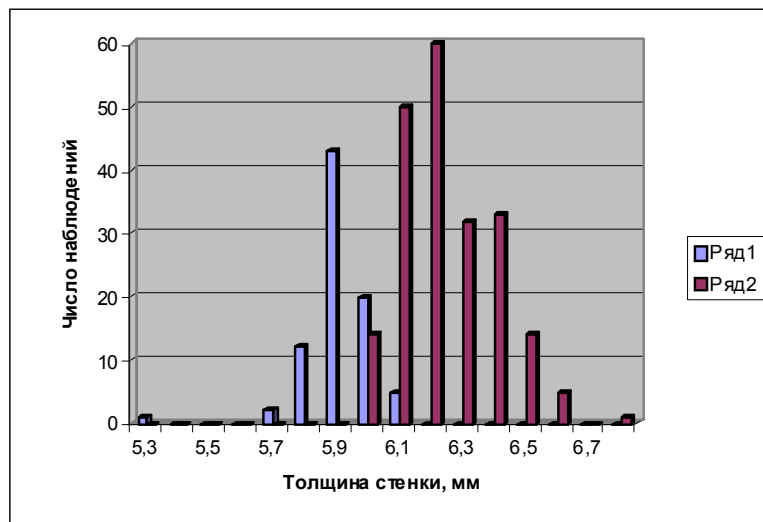


Рис. 1. Суперпозиция законов распределения толщины стенки труб Ø219х6,0 мм

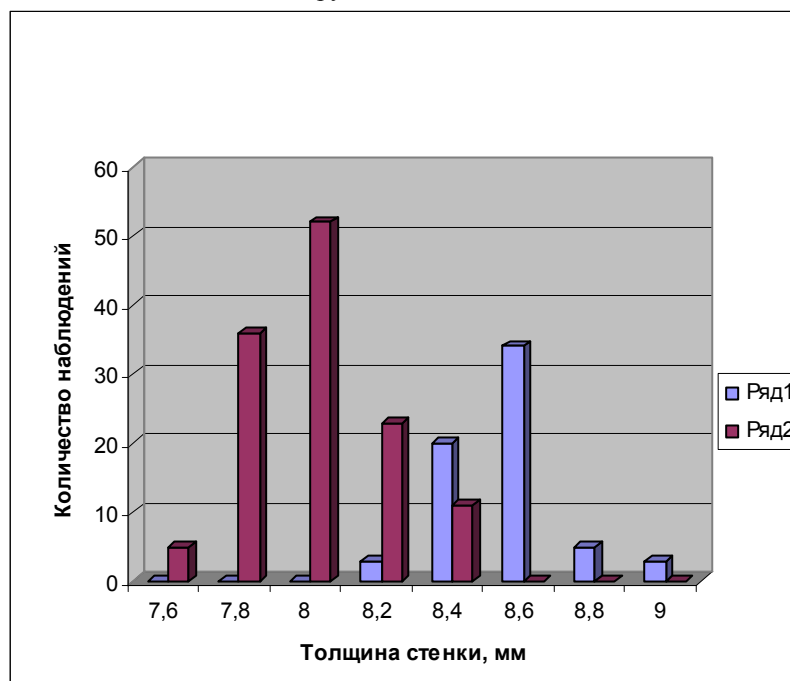


Рис. 2. Суперпозиция законов распределения толщины стенки труб Ø219х8,0 мм

Кроме того, для устранения второго максимума частотного распределения необходимо создать условия для получения труб с более равномерным распределением толщины стенки трубы в поперечном сечении очага деформации в каждом проходе. В то же время, теоретическое

обоснование повышения точности труб по толщине стенки, требует экспериментальной проверки.

Известно, что в общем виде поперечную разностенность можно представить в виде двух составляющих [1,2]: разностенности, являющейся следствием эксцентricности линий,

ограничивающих внутреннюю и наружную поверхности труб, а также разностенности, вызванной «гранёностью» внутренней и наружной поверхностей. Соответственно, конечными величинами при расчёте труб на точность по толщине стенки будут: доля «эксцентриситетности» и доля «гранёности» в общей дисперсии толщины стенки. Преобладание на готовых трубах какой-либо из этих долей указывает на узкие места данной технологии и выявляет конкретную операцию из линии ТПА, способствующую образованию одного из перечисленных видов разностенности.

Из практики трубного производства известно, что для всех нередуцированных труб, независимо от способа их производства, доля «эксцентриситетности» составляет большую часть в разбросе толщины стенки поперечного сечения трубы. Для редуцированных труб резко растёт доля «гранёности», причём тем больше, чем больше степень редукции диаметра и меньше натяжение. «Гранёность» проявляется в виде внутреннего «квадрата» при редуцировании в стане с двухвалковыми клетями или «шестигранника» - при редуцировании в трёхвалковых клетях.

В источнике [1] приведены экспериментальные данные доли «эксцентриситетности» в поперечной разностенности труб, изготовленных различными способами:

- для ТПА с автоматическим станом «эксцентриситетность» в среднем составляла 55%;
- для ТПА с непрерывным станом, в составе которых по 7-9 клетей, «эксцентриситетность» в среднем составляла 26%.

В составе ТПА с автоматическим станом имеется обкатной стан, который выравнивает геометрию внутренней поверхности раската, полученной после автомат стана, поэтому доли «гранёности» и «эксцентриситетности» здесь соизмеримы. Непрерывные станы, в составе которых по 7-9 клетей, позволяют более равномерно перераспределить деформацию и снизить обжатия в каждой из клетей, в сравнении с пятиклетевым трёхвалковым оправочным станом.

При анализе точности гильз, как и ожидалось, преобладала «эксцентриситетная» составляющая, что обусловлено природой процесса прошивки заготовки. При замере раската за станом PQF наблюдалось резкое увеличение доли «гранёности», она составляла почти 100%. «Гранёность», образовавшаяся на стане PQF, распространялась на раскат за ИКС, за РРС и на готовые трубы. Причём доля «гранёности» находилась на одном уровне, близком к единице. Преобладание доли «эксцентриситетности» в некоторых случаях наблюдалось только на концах труб. Станы ИКС и РРС несколько уменьшали «гранёность» со стана PQF, что противоречит данным, приведенным в источнике [1].

Изменение толщины стенки в продольном направлении было незначительно для всех типов труб. Значение эксцентриситета равномерно понижалось по ходу прокатки, а минимальная

величина дисперсии толщины стенки раската наблюдалась за станом PQF, однако и на готовых трубах она находилась примерно в том же диапазоне.

Низкое значение коэффициента вариации наружного диаметра [1] для каждой из партий готовых труб свидетельствовал об удовлетворительной настройке правильных машин и калибровочного стана, а готовые трубы полностью соответствовали требованиям, предъявляемым к овальности, кривизне и прямолинейности. Для труб, не прошедших термообработку и калибровку, коэффициент вариации и параметр, характеризующий разброс значений наружного диаметра, как и ожидалось, был высок.

Данные, рассчитанные относительно математического ожидания и дисперсии случайной величины внутреннего диаметра, сопоставлялись с полученными фактическими данными, вычисленными по абсолютным величинам, то есть выбранная последовательность измерения раската и методика определения точности труб [1] показала свою целесообразность и эффективность.

Проведенный статистический анализ показывает, что для повышения точности труб по толщине стенки прежде всего необходимо устранить второй максимум, имеющий системный характер, на законах распределения толщины стенки труб, прокатанных на ТПА со станом PQF.

Таким образом, в технологической цепочке линии ТПА со станом PQF узким местом является непрерывный трёхвалковый оправочный стан. Анализ технологии остальных агрегатов данного ТПА не выявил каких-либо отклонений.

Стоит отметить, что существующая технология производства труб на ОАО «ТАГМЕТ» позволяет получать трубы, соответствующие параметрам, приведенным в современных стандартах, например, такому как норвежский стандарт DNV-OS-F101 (для подводных трубопроводных систем; в том числе и дополнительному требованию D) и частично превосходить эти требования, например, по толщине стенки.

Таким образом, при необходимости повышения прокатной компании валков и мобильности технологии, с точки зрения точности труб, в первую очередь необходимо совершенствовать технологию прокатки труб на стане PQF.

#### Список литературы

1. Столетний М.Ф. Точность труб / М.Ф. Столетний, Е.Д. Клемперт. – М.: Металлургия, 1975. – 240 с.
2. Гуляев Ю.Г. Повышение точности и качества труб / Ю.Г. Гуляев, М.З. Володарский, О.И. Лев, С.А. Михеев, Г.П. Кострижев, С.А. Чукмасов. – М.: Металлургия, 1992. – 283 с.